

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
9. September 2005 (09.09.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/083511 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G03F**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/001797

(22) Internationales Anmeldedatum:  
22. Februar 2005 (22.02.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2004 009 239.7  
26. Februar 2004 (26.02.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **CARL ZEISS SMT AG** [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse  
22, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **DIECKMANN, Nils**  
[DE/DE]; Reuteweg 5, 73460 Hüttlingen (DE). **MAUL,**

**Manfred** [DE/DE]; Elchweg 29, 73434 Aalen (DE).  
**FIOLKA, Damian** [DE/DE]; Adalbert-Stifter-Weg 14,  
73447 Oberkochen (DE).

(74) **Anwalt: LORENZ, Werner**; Alte Ulmer Strasse 2, 89522  
Heidenheim (DE).

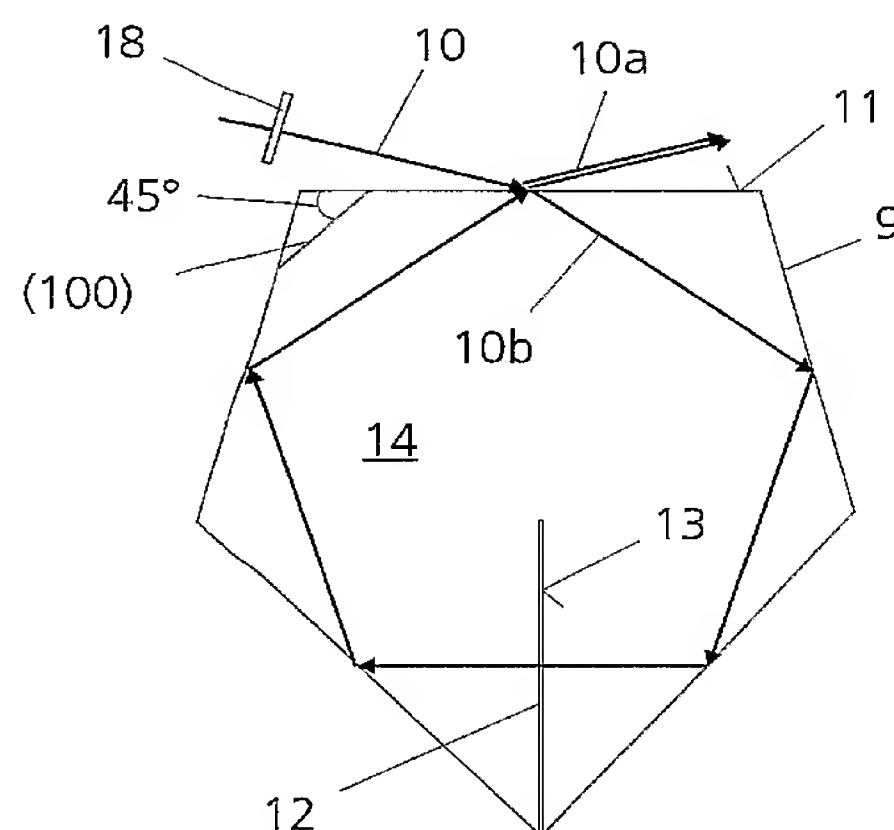
(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,  
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ,  
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA,  
ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** SYSTEM FOR REDUCING THE COHERENCE OF LASER RADIATION

(54) **Bezeichnung:** SYSTEM ZUR REDUZIERUNG DER KOHÄRENZ EINER LASERSTRAHLUNG



(57) **Abstract:** The invention relates to a system for reducing the coherence of a wave front-emitting laser radiation (10b), especially for a projection lens for use in semiconductor lithography, wherein a first partial beam (10a) of a laser beam (10) incident on a surface (11) of a resonator body (9) is partially reflected. A second partial beam (10b) penetrates the resonator body (9) and emerges from the resonator body (9) at least approximately in the area of entry after a plurality of total internal reflections. The two partial beams (10a and 10b) are then passed on jointly to an illumination plane. The resonator body (9) is adapted, in addition to splitting the laser beam into partial beams (10a, 10b), to modulate the wave fronts of at least one partial beam (10b) during a laser pulse. The partial beams (10a, 10b) reflected on the resonator body (9) and penetrating the resonator body are superimposed downstream of the resonator body (9). The resonator body (9, 9') is provided with a phase plate (12) having different local phase distribution.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/083511 A2



GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

#### Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i) für alle Bestimmungsstaaten
- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW, ARIPO Patent

(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii) für alle Bestimmungsstaaten
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

#### Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**(57) Zusammenfassung:** Bei einem System zur Reduzierung der Kohärenz einer wellenfronten aussendenden Laserstrahlung (10b), insbesondere für ein Projektionsobjektiv in der Halbleiterlithographie wird ein von dem auf eine Oberfläche(11) eines Resonatorkörpers (9) auftreffenden Laserstrahles (10) ein erster Teilstrahl (10a) teilreflektiert. Ein zweiter Teilstrahl (10b) tritt in den Resonatorkörper (9) ein und tritt nach mehreren Totalreflexionen wenigstens annähernd im Bereich der Eintrittsstelle wieder aus dem Resonatorkörper (9) aus. Anschließend werden die beiden Teilstrahlen (10a und 10b) gemeinsam zu einer Beleuchtungsebene weitergeleitet. Der Resonatorkörper (9) ist derart ausgebildet, dass zusätzlich zu der Aufteilung in Teilstrahlen (10a,10b) die Wellenfronten wenigstens eines Teilstrahles (10b) während eines Laserpulses moduliert werden, wobei die an dem Resonatorkörper (9) reflektierten und die in den Resonatorkörper eintretenden Teilstrahlen (10a, 10b) nach dem Resonatorkörper (9) überlagert werden und wobei der Resonatorkörper (9,9') mit einer Phasenplatte (12) mit unterschiedlicher lokaler Phasenverteilung versehen ist.

System zur Reduzierung der Kohärenz einer Laserstrahlung

Die Erfindung betrifft ein System zur Reduzierung der Kohärenz einer Wellenfronten aussendenden Laserstrahlung, insbesondere für ein Projektionsobjektiv in der Halbleiterlithographie, wobei von dem auf eine Oberfläche eines Resonatorkörpers auftreffenden Laserstrahl ein erster Teilstrahl teilreflektiert wird und wobei ein zweiter Teilstrahl in den Resonatorkörper eintritt und nach mehreren Totalreflexionen wenigstens annähernd im Bereich der Eintrittsstelle wieder aus dem Resonatorkörper austritt und mit dem ersten Teilstrahl gemeinsam zu einer Beleuchtungsebene weitergeleitet wird. Die Erfindung betrifft auch eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem Laser als Lichtquelle, einem Beleuchtungssystem und einem Projektionsobjektiv.

Bei Projektionsobjektiven in der Halbleiterlithographie ist es erforderlich die Maske, auch Reticle genannt, mittels eines Beleuchtungssystems möglichst homogen auszuleuchten. Dabei besteht jedoch ein Problem bei Verwendung von gepulstem Laserlicht in einer großen zeitlichen Kohärenz der Laserstrahlung, wodurch die Homogenität durch Speckle, d.h. Unterschiede im Hell/Dunkel, gestört wird. Es ist deshalb bereits vorgeschlagen worden, durch die Anordnung eines Resonatorkörpers in Form eines Prismas mit drei Ecken den Laserstrahl beim Auftreffen auf den Resonatorkörper aufzuteilen und zwar in einen teilreflektierten Teilstrahl und einen zweiten Teilstrahl, der in den Resonatorkörper eintritt, nach entsprechenden Totalreflexionen wieder im Bereich der Eintrittsstelle aus dem Resonatorkörper austritt und anschließend mit dem reflektierten Teilstrahl wieder vereint wird. Auf diese Weise werden die Laserpulse praktisch in mehrere Teilstrahlen "zerhackt", welche zeitlich nacheinander an der Beleuchtungsebene, z.B. der Reticle-Ebene im Falle eines Einsatzes in der Halbleiterlithographie, ankommen. Der Zweck dabei ist es, den

Zeitabstand zwischen zwei Pulsen so groß zu machen, dass dieser größer ist als die sogenannte zeitliche Kohärenz der Laserstrahlung. Dies bedeutet, die Strahlbündel sind nicht mehr interferenzfähig, d.h. sie können keine Interferenzen mehr bilden. Durch diese Maßnahme soll sich eine Verbesserung in der Beleuchtungshomogenität ergeben.

Zum Stand der Technik wird auf die EP 1 107 089 A2, die US 6,238,063 B1 und den Patent Abstract of Japan 01198759A verwiesen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein System zu schaffen, mit dem die Beleuchtungshomogenität noch weiter verbessert werden kann.

15

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass der Resonatorkörper derart ausgebildet ist, dass zusätzlich zu der Aufteilung in Teilstrahlen die Wellenfronten wenigstens eines Teilstrahles während eines Laserpulses moduliert werden, wobei die an dem Resonatorkörper reflektierten und die in den Resonatorkörper eintretenden Teilstrahlen nach dem Resonatorkörper überlagert werden und wobei der Resonatorkörper mit einer Phasenplatte mit unterschiedlicher lokaler Phasenverteilung versehen ist.

25

Zusätzlich zu der bekannten Aufteilung des Laserstrahles in Teilstrahlen, die zeitlich nicht mehr zueinander kohärent sind, wird erfindungsgemäß noch eine Modulation der Wellenfronten der Laserstrahlung vorgenommen. Auf diese Weise kommt es zu unterschiedlichen Wellenfronten (lokale Phasenverteilungen) während eines einzigen Laserpulses. Anders ausgedrückt: Durch Überlagerung von verschiedenen Specklemustern während eines Pulses lässt sich auf diese Weise eine deutliche Steigerung der Beleuchtungshomogenität durch eine Mittelung über mehrere Speckleverteilungen erreichen.

35

Durch die erfindungsgemäße Kombination von zeitlich versetzten Wellenfronten, die zusätzlich noch moduliert und damit unterschiedliche Phasenverteilungen erhalten, lässt sich eine sehr große Homogenität durch gemittelte Specklemuster erreichen. Geeignet hierfür ist eine Phasenplatte, welche in dem Resonatorkörper angebracht wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der Resonatorkörper als Prisma mit wenigstens fünf Ecken ausgebildet ist. Es wurde nämlich festgestellt, dass sich im Vergleich zu einem Resonatorkörper mit 3-Ecken, bei den im allgemeinen verwendeten Wellenlängen der Laserstrahlen, insbesondere im VUV-Bereich (vakuumultravioletter Spektralbereich) oder kürzer, in dem Prisma zu steile Ablenkwinkel ergeben, so dass es nicht jeweils zu Totalreflexionen kommt, sondern zu Teilaustritten mit entsprechenden Lichtverlusten. Bei Verwendung eines Prismas mit mindestens 5-Ecken werden wenigstens vier Reflexionen erzeugt, wobei in der Regel Mindestwinkel von 37 Grad eingehalten werden können, so dass es stets zu Totalreflexionen kommt. Dabei hat sich insbesondere Kalziumfluorid als Material für den erfindungsgemäßen Resonatorkörper herausgestellt. Selbstverständlich sind jedoch auch noch andere Materialien wie z.B. Magnesiumfluorid und Quarz hierfür möglich.

Zur Modulation einer Wellenfront sind weitere verschiedene Maßnahmen denkbar.

Ist die Dicke der Phasenplatte gemäß einer Weiterbildung der Erfindung unterschiedlich, so ergeben sich entsprechend räumlich versetzte Wellenfronten. Unterschiedliche Dickenänderungen - bezogen auf eine Richtung quer zur Strahlrichtung - sollten dabei in einem Abstand auftreten, der der Größenordnung der räumlichen Kohärenzlänge der Laserstrahlung, welche durchmoduliert werden sollte, entspricht.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Phasenplatte als diffraktives optisches Element (DOE) ausgebildet ist, das in der nullten Beugungsordnung betrieben wird. Normalerweise wird ein diffraktives optisches Element in der ersten oder auch einer höheren Beugungsordnung verwendet. Um jedoch die Wellenfrontmodulation zu erreichen, wird man das diffraktive optische Element (DOE) in der nullten Beugungsordnung verwenden, wo das Laserlicht ungebrochen durchgeht.

Eine weitere Möglichkeit besteht in dem Einsatz einer Streuscheibe als Phasenplatte.

Die erfindungsgemäße Modulation einer Wellenfront lässt sich auch dadurch erreichen, dass man den Resonatorkörper, z.B. das Prisma mit den wenigstens fünf Ecken, asymmetrisch ausbildet. Dies kann z.B. durch eine asymmetrische, d.h. nicht spiegelsymmetrische Ausbildung wenigstens einer Seite des Prismas erfolgen.

Eine weitere Lösung oder auch eine Kombination mit einem asymmetrischen Resonatorkörper, besteht darin, dass die Strahlführung des Laserstrahles so gewählt ist, dass der Schwerpunktstrahl außermittig auf den Resonatorkörper trifft.

In diesem Fall werden bei dem Umlauf des Teilstrahles in dem Resonatorkörper ebenfalls Modulationen der Wellenfront geschaffen.

Wenn man die Oberfläche, auf die der Laserstrahl auftrifft, mit einer Teilerschicht versieht, die derart ausgestaltet ist, dass damit der Eintrittswinkel veränderbar ist, lassen sich die Anwendungsmöglichkeiten noch steigern, da die Winkelabhängigkeit zumindest teilweise reduziert werden kann. Durch die Teilerschicht lässt sich somit der Eintrittswinkel variieren und damit auch das Verhältnis des reflektierten Teilstrahles und des in den Resonatorkörper eintretenden

Teilstrahles.

Um darüber hinaus auch noch Wellenfrontmodulationen zu erreichen, kann z.B. die Teilerschicht unterschiedlich dick und/oder nicht homogen ausgebildet werden. Als Teilerschicht lässt sich in vorteilhafter Weise eine dielektrische Schicht mit einem Teilungsverhältnis von 33 : 67 bzw.  $1/3$  :  $2/3$  verwenden.

10 Nachfolgend sind Ausführungsbeispiele der Erfindung prinzipmäßig anhand der Zeichnungen dargestellt.

Es zeigt:

15 Figur 1 einen schematischen Aufbau einer Projektionsbelichtungsanlage mit einer Lichtquelle, einem Beleuchtungssystem und einem Projektionsobjektiv;

20 Figur 2 5-Eck-Prisma als Resonatorkörper mit einer Phasenplatte;

Figur 3a einen Querschnitt durch die Phasenplatte nach der Fig. 2;

25 Figur 3b einen Querschnitt durch eine weitere Ausführungsform einer Phasenplatte;

Figur 4 ein 5-Eck-Prisma mit zwei asymmetrischen Seiten; und

30 Figur 5 ein 5-Eck-Prisma mit einer Teilerschicht auf einer Oberfläche.

Wie aus Figur 1 ersichtlich, weist eine Projektionsbelichtungsanlage 1 eine als Laser ausgebildete Lichtquelle 2, ein Beleuchtungssystem 3 zur Ausleuchtung eines Feldes in einer

Ebene 4, in der eine strukturtragende Maske 4a angeordnet ist, sowie ein Projektionsobjektiv 5 zur Abbildung der strukturtragenden Maske 4a in der Ebene 4 auf ein lichtempfindliches Substrat 6 auf. Das Projektionsobjektiv 5 weist  
5 mehrere optische Elemente 7 in seinem Gehäuse 8 auf. Die Projektionsbelichtungsanlage 1 dient zur Herstellung von Halbleiterbauelementen, wie z.B. Computerchips.

Ein Resonatorkörper 9,9' ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel  
10 zwischen dem Laser 2 und dem Beleuchtungssystem 3 zur Reduzierung der, insbesondere zeitlichen Kohärenz einer Laserstrahlung 10 des Lasers 2 angeordnet.

Figur 2 zeigt ein 5-Eck-Prisma als Resonatorkörper 9.

15

Von dem einfallenden Laserstrahlbündel 10 ist zur Vereinfachung nur der Schwerpunktstrahl dargestellt und im folgenden wird auch nur von dem Laserstrahl 10 gesprochen. Selbstverständlich liegt in der Praxis ein Strahlenbündel vor. Zur  
20 Einstellung des Polarisationsgrades (zwischen unpolarisiert und linear polarisiert) des Laserstrahls 10 wird eine Lambda/2-Platte 18 verwendet. Der auf eine Oberfläche 11 des Prismas 9 auftreffende Laserstrahl 10 wird in einen ersten Teilstrahl 10a aufgeteilt, welcher an der Oberfläche 11 re-  
25 flektiert und einen Teilstrahl 10b, der in den Resonatorkörper 9 eintritt und dort nach mehreren Totalreflexionen an der Eintrittsstelle wieder aus dem Resonatorkörper 9 austritt und dort mit dem ersten Teilstrahl 10a vereint wird. Beide Teilstrahlen werden anschließend zu einer Beleuch-  
30 tungsebene, in diesem Falle der Ebene 4 mit der strukturtragenden Maske zugeführt. In dem dargestellten 5-eckigen Prisma kommt es zu vier Totalreflexionen. Bei einem Prisma mit mehr Ecken sind entsprechend mehr Totalreflexionen vorhanden.

35

Gemäß Figur 2 ragt in das Prisma 9 eine Phasenplatte 12, die

derart in das Prisma 9 eingebracht ist, dass der umlaufende Teilstrahl 10b, welcher annähernd senkrecht auf eine vordere Oberfläche 13 der Phasenplatte 12 trifft, diese durchdringen muss. Die Phasenplatte 12 verursacht eine unterschiedliche  
5 lokale Phasenverteilung. Hierzu besitzt die Phasenplatte 12 eine unterschiedliche Dicke, wie aus den vergrößerten Querschnittsdarstellungen gemäß den Figuren 3a und 3b ersichtlich ist. Wie ersichtlich, variieren die unterschiedlichen Dicken der Phasenplatte 12 in Querrichtung zur Strahlrichtung in  
10 ihrer Breite  $s$ . Die größte Breite  $s$  soll dabei - in Abhängigkeit von dem verwendeten Laser und dessen Wellenlänge - in der Größenordnung der räumlichen Kohärenzlänge der benutzten Laserstrahlung liegen. Bei Excimer-Lasern liegt der Wert für  $s$  zwischen 0,05 und 1 mm, wobei eine eventuelle  
15 Strahlaufweitung den Wert entsprechend vergrößert.

Die Dickendifferenz zwischen der maximalen und der minimalen Dicke der Platte sollte in der Größenordnung von einigen Wellenlängen des eingesetzten Lichtes liegen. Bei den vor-  
20 stehend genannten Wellenlängen sollte diese zwischen  $a = 200$  bis 500 nm liegen.

Die Basisdicke der Phasenplatte  $b$  kann im Bereich von 500  $\mu\text{m}$  liegen.

25

Die Verteilung der Breitenunterschiede  $s$  und der Dickenunterschiede  $a$  sollten möglichst zufällig sein, damit man auch eine relativ zufällige Phasenverteilung auf der Wellenfront erhält. Auf diese Weise sind die optischen Weglängen lokal  
30 unterschiedlich und man erhält bei den wiedervereinigten Teilstrahlen 10a und 10b nach dem Resonatorkörper 9 entsprechend zeitlich unterschiedliche Teilstrahlen, die darüber hinaus auch noch bezüglich der Wellenfront moduliert sind. Die einzelnen Pulse können auf diese Weise so kurz in ihrer  
35 Dauer und in Phasenverteilung sein, dass keine Interferenzfähigkeit mehr gegeben ist.

In der Ausführungsform gemäß Figur 3b ist die Struktur der Phasenplatte 12 spitz zulaufend bzw. prismenartig ausgeführt, wodurch eine verbesserte Strahlaufweitung erreicht wird.

Bei Verwendung eines 5-eckigen Prismas ergeben sich Reflexionswinkel die größer 37 Grad sind, wodurch totale Reflexionen im Inneren auftreten. Das dargestellte Ausführungsbeispiel wurde so ausgelegt, dass alle Totalreflexionswinkel identisch sind und ca. 55 Grad betragen.

Als Material für das Prisma kann Kalziumfluorid verwendet werden. Die Kristallorientierung des  $\text{CaF}_2$ -Prismas 9 wird so gewählt, dass die erste (100)-Kristallebene einen Winkel von  $45^\circ$  mit Lichteintrittsebene Eintritts- bzw. Oberfläche 11 bildet und senkrecht auf der Seitenfläche 14 liegt. Die zweite (100)-Kristallebene liegt parallel zu der Seitenfläche 14 des Prismas 9.

Auf diese Weise wirkt sich die intrinsische Doppelbrechung, die bei der Wellenlänge von 157 nm und 193 nm signifikant ist, nicht auf die Polarisation des umlaufenden Strahls aus, wenn das Licht an der Eintrittsoberfläche 11 linear polarisiert und die Schwingungsrichtung des elektrischen Feldstärkevektors parallel (p-polarisiert) oder senkrecht (s-polarisiert) bezüglich der Einfallsebene ist. Das Licht tritt wieder s- bzw. p-polarisiert aus dem Prisma 9 heraus.

Besteht der einfallende Strahl 10 aus unpolarisiertem Licht, dann ist die Kristallorientierung nicht von Bedeutung und das Prisma 9 aus  $\text{CaF}_2$  kann beliebig orientiert sein.

Eine entsprechende Möglichkeit besteht darin, den Block aus  $\text{MgF}_2$  (transparent bei 157 nm und 193 nm, stark doppelbrechend) herzustellen. Handelt es sich um unpolarisiertes

Licht am Eintritt, dann kann die Kristallorientierung bezüglich der Prismaflächen ebenfalls beliebig gewählt werden.

Ist das Licht an der Eintrittsebene bzw. Eintrittsoberfläche  
5 11 linear polarisiert (s- bzw. p-polarisiert) und soll das Licht wieder linear polarisiert austreten, dann muss die Kristallorientierung so gewählt werden, dass die Schwingungsrichtung des einfallenden elektrischen Feldstärkevektors parallel zu der schnellen (Richtung mit außerordentli-  
10 cher Brechzahl) oder langsamen (Richtung mit ordentlicher Brechzahl) Kristallachse liegt.

In diesem Fall findet keine Doppelbrechung statt und der Polarisationszustand bleibt erhalten.

15

Als Phasenplatte 12 kann ein diffraktives optisches Element verwendet werden, das auf die nullte Beugungsordnung optimiert ist, in der auftreffendes Licht ungebeugt durchtritt.

20 Als Phasenplatte 12 kann auch eine Streuscheibe verwendet werden.

Figur 4 zeigt ein Prisma in 5-Eck-Form, wobei ein Versatz vorhanden ist bzw. wobei der Prismenkörper asymmetrisch ausgebildet ist. Wie ersichtlich ist eine Seite, nämlich die  
25 erste Seite 15, auf der die Teilstrahlen 10b auftreffen um den Abstand d nach unten verschoben. Damit ist die Spiegelsymmetrie gestört, was auch für die nachfolgende Seite 16 gilt. Auf diese Weise wird ebenfalls erreicht, dass der reflektierte Teilstrahl 10a und der in dem Prisma 9' umlaufende Teilstrahl 10b und damit schließlich alle Teilstrahlen  
30 zeitlich und räumlich versetzt zueinander verlaufen. Der Abstand d kann in der Größenordnung von 0,1 mm liegen.

35 Im Bedarfsfalle kann zusätzlich noch eine Phasenplatte 12 (in der Figur 4 gestrichelt dargestellt) entsprechend der

Ausgestaltung nach der Figur 2 eingebracht werden, womit man bezüglich der Modulation von Wellenfronten noch variabler ist.

- 5 Die Figur 5 zeigt eine Ausgestaltung eines Prismas 9, ebenfalls in 5-Eck-Form, wobei auf der Eintrittsoberfläche 11 noch eine Teilerschicht 17 aufgebracht ist.

Die Teilerschicht kann z.B. eine dielektrische Schicht mit  
10 einem Teilungsverhältnis von  $1/3 : 2/3$  sein. Die Teilerschicht hat zum einen die Aufgabe den Eintrittswinkel des Teilstrahles 10b in das Prisma 9 zu beeinflussen. Dies lässt sich entsprechend der Ausgestaltung und dem Material der Teilerschicht je nach Wunsch wählen.

15

Wenn die Teilerschicht darüber hinaus noch eine unterschiedliche Dicke aufweist, so wird zusätzlich auch noch in ähnlicher Weise wie bei der Phasenplatte (gestrichelt dargestellt in Figur 5) eine Modulation der Wellenfront erreicht. Gleiches ist möglich durch eine unhomogene bzw. nicht homogene  
20 Ausbildung der Teilerschicht.

Die in den Figuren 2, 4 und 5 dargestellten Ausführungsbeispiele zur Erzeugung von unterschiedlichen Wellenfronten  
25 können sowohl separat als auch in beliebigen Kombinationen miteinander verwendet werden. Beispielsweise ist es auch möglich alle drei Maßnahmen miteinander zu kombinieren, d.h. eine Phasenplatte 12 in einem asymmetrischen Prisma 9' gemäß Figur 4 anzuordnen und zusätzlich auch noch die Eintrittsoberfläche 11 mit einer Teilerschicht 17 zu versehen, welche  
30 darüber hinaus eine unterschiedliche Dicke und/oder auch nicht homogen ausgebildet ist.

## Patentansprüche:

1. System zur Reduzierung der Kohärenz einer Wellenfronten aussendenden Laserstrahlung, insbesondere für ein Projektionsobjektiv in der Halbleiterlithographie, wobei von dem auf eine Oberfläche eines Resonatorkörpers auftreffenden Laserstrahl ein erster Teilstrahl teilreflektiert wird und wobei ein zweiter Teilstrahl in den Resonatorkörper eintritt und nach mehreren Totalreflexionen wenigstens annähernd im Bereich der Eintrittsstelle wieder aus dem Resonatorkörper austritt und mit dem ersten Teilstrahl gemeinsam zu einer Beleuchtungsebene weitergeleitet wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Resonatorkörper (9,9') derart ausgebildet ist, dass zusätzlich zu der Aufteilung in Teilstrahlen (10a,10b) die Wellenfronten wenigstens eines Teilstrahles (10b) während eines Laserpulses moduliert werden, wobei die an dem Resonatorkörper (9,9') reflektierten und die in den Resonatorkörper (9,9') eintretenden Teilstrahlen (10a,10b) nach dem Resonatorkörper (9,9') überlagert werden und wobei der Resonatorkörper (9,9') mit einer Phasenplatte (12) mit unterschiedlicher lokaler Phasenverteilung versehen ist.
2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Phasenplatte (12) für den Durchgang des zweiten Teilstrahles (10b) des Laserstrahles quer zur Strahlrichtung unterschiedliche Dicken aufweist.
3. System nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Unterschiede in der Dicke zwischen 200 und 500 nm liegen.
4. System nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die unterschiedlichen Dicken der Phasenplatte (9) in Querrichtung in einer Breite  $s$  variieren, die in der Größenordnung der räumlichen Kohärenzlänge der Laserstrahlung an der Eintrittsebene (11) liegt.

5. System nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass für die Breite  $s$   $0,05 < s < 1$  mm gilt.
- 5 6. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Phasenplatte (12) als diffraktives optisches Element (DOE) ausgebildet ist, welches auf die nullte Beugungsordnung optimiert ist.
- 10 7. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Phasenplatte (12) eine Streuscheibe vorgesehen ist.
8. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Resonatorkörper (9,9') als Prisma mit wenigstens fünf E-  
15 cken ausgebildet ist.
9. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionswinkel in dem Resonatorkörper (9,9') wenigstens 37 Grad betragen.
- 20 10. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Weglänge des zweiten Teilstrahles (10b) in dem Resonatorkörper (9,9') ein Mehrfaches der Kohärenzlänge beträgt.
- 25 11. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das auf den Resonatorkörper (9,9') auftreffende Licht in einem Verhältnis von 1/3 zu 2/3 bezüglich des ersten reflektierten Teilstrahles (10a) und des zweiten in dem Re-  
30 sonatorkörper (9,9') umlaufenden Teilstrahles (10a,10b) aufgeteilt wird.
12. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei Wellenlängen des Laserstrahles (10) von 157 nm oder kleiner als Resonatorkörper (9,9') Kalziumfluorid verwendet  
35 wird.

13. System nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass Kalziumfluorid in einer Kristallorientierung so gewählt wird, dass die erste (100)-Kristallebene einen Winkel von 45 Grad mit der Ebene der Oberfläche bildet, auf die der Laserstrahl trifft, und senkrecht auf einer Seitenfläche liegt, wobei die zweite (100)-Kristallebene parallel zu dieser Seitenfläche liegt.
14. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Polarisationsrichtung des auf den Resonatorkörper (9,9') auftreffenden Laserstrahles zur Einstellung eines Polarisationszustandes relativ zur Einfallsebene drehbar ist.
15. System nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Polarisationsgrad zwischen unpolarisiert und linear polarisiert einstellbar ist.
16. System nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass zur Einstellung des Polarisationszustandes eine Lambda/2-Platte (18) verwendet wird.
17. System nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Prisma (9') asymmetrisch ausgebildet ist.
18. System nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Prisma (9') mit wenigstens einer asymmetrischen Seite versehen ist.
19. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage des Schwerpunktstrahles des auf den Resonatorkörper (9,9') auftreffenden Laserstrahles (10) außermittig ist.
20. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Resonatorkörper (9') asymmetrisch ausgebildet ist und dass der Schwerpunktstrahl des Laserstrahles (10) außer-

mittig auf den Resonatorkörper (9') trifft.

21. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche (11) des Resonatorkörpers (9,9'), auf die der Laserstrahl (10) auftrifft, mit einer Teilerschicht (17) derart versehen ist, dass sie den Eintrittswinkel des in den Resonatorkörper (9,9') eintretenden Teilstrahles (10b) beeinflusst.
22. System nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilerschicht (17) eine unterschiedliche Dicke aufweist.
23. System nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilerschicht (17) nicht homogen ausgebildet ist.
24. System nach einem der Ansprüche 21, 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilerschicht (17) eine dielektrische Schicht aufweist.
25. Projektionsbelichtungsanlage für die Halbleiterlithographie mit einem Laser als Lichtquelle, einem Beleuchtungssystem, einer Beleuchtungsebene mit einer Maske und mit einem Projektionsobjektiv, wobei zur Reduzierung der Kohärenz einer Wellenfronten aussendenden Laserstrahlung, der auf eine Oberfläche eines Resonatorkörpers auftreffende Laserstrahl mit einem ersten Teilstrahl teilreflektiert wird, und wobei ein zweiter Teilstrahl in den Resonatorkörper eintritt und nach mehreren Totalreflexionen wenigstens annähernd im Bereich der Eintrittsstelle wieder aus dem Resonatorkörper austritt und mit dem ersten Teilstrahl gemeinsam zu einer Beleuchtungsebene weitergeleitet wird, dadurch gekennzeichnet dass, der Resonatorkörper (9,9') derart ausgebildet ist, dass zusätzlich zu der Aufteilung in Teilstrahlen (10a,10b) die Wellenfronten wenigstens eines Teilstrahles (10b) während eines Laserpulses moduliert werden, wobei die an den Resonator-

körper (9,9') reflektierten und die in den Resonatorkörper (9,9') eintretenden Teilstrahlen (10a,10b) nach dem Resonatorkörper (9,9') überlagert werden und wobei der Resonatorkörper (9,9') mit einer Phasenplatte (12) mit unterschiedlicher lokaler Phasenverteilung versehen ist.

26. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Phasenplatte (12) als diffraktives optisches Element (DOE) ausgebildet ist, welches auf die nullte Beugungsordnung optimiert ist.

27. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass als Phasenplatte (12) eine Streuscheibe vorgesehen ist.

28. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet dass, der Resonatorkörper (9,9') als Prisma mit wenigstens fünf Ecken ausgebildet ist.

29. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Weglänge des zweiten Teilstrahles (10b) in dem Resonatorkörper (9,9') ein Mehrfaches der zeitlichen Kohärenzlänge beträgt.

30. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass bei Wellenlängen des Laserstrahles (10) von 157 nm oder kleiner als Resonatorkörper (9,9') Kalziumfluorid vorgesehen ist.

31. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass der Resonatorkörper (9,9') mit einer Phasenplatte (12) mit unterschiedlicher lokaler Phasenverteilung versehen ist.

32. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass das Prisma (9') asymmetrisch ausge-

bildet ist.

- 5 33. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage des Schwerpunktstrahles des auf den Resonatorkörper (9,9') auftreffenden Laserstrahles (10) außermittig ist.
- 10 34. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche (11) des Resonatorkörpers (9,9'), auf die der Laserstrahl (10) auftrifft, mit einer Teilerschicht (17) derart versehen ist, dass sie den Eintrittswinkel des in den Resonatorkörper (9,9') eintretenden Teilstrahles (10b) beeinflusst.
- 15 35. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilerschicht eine unterschiedliche Dicke und/oder nicht homogen ausgebildet ist.
- 20 36. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 34 oder 35, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilerschicht eine dielektrische Schicht aufweist.

1/3

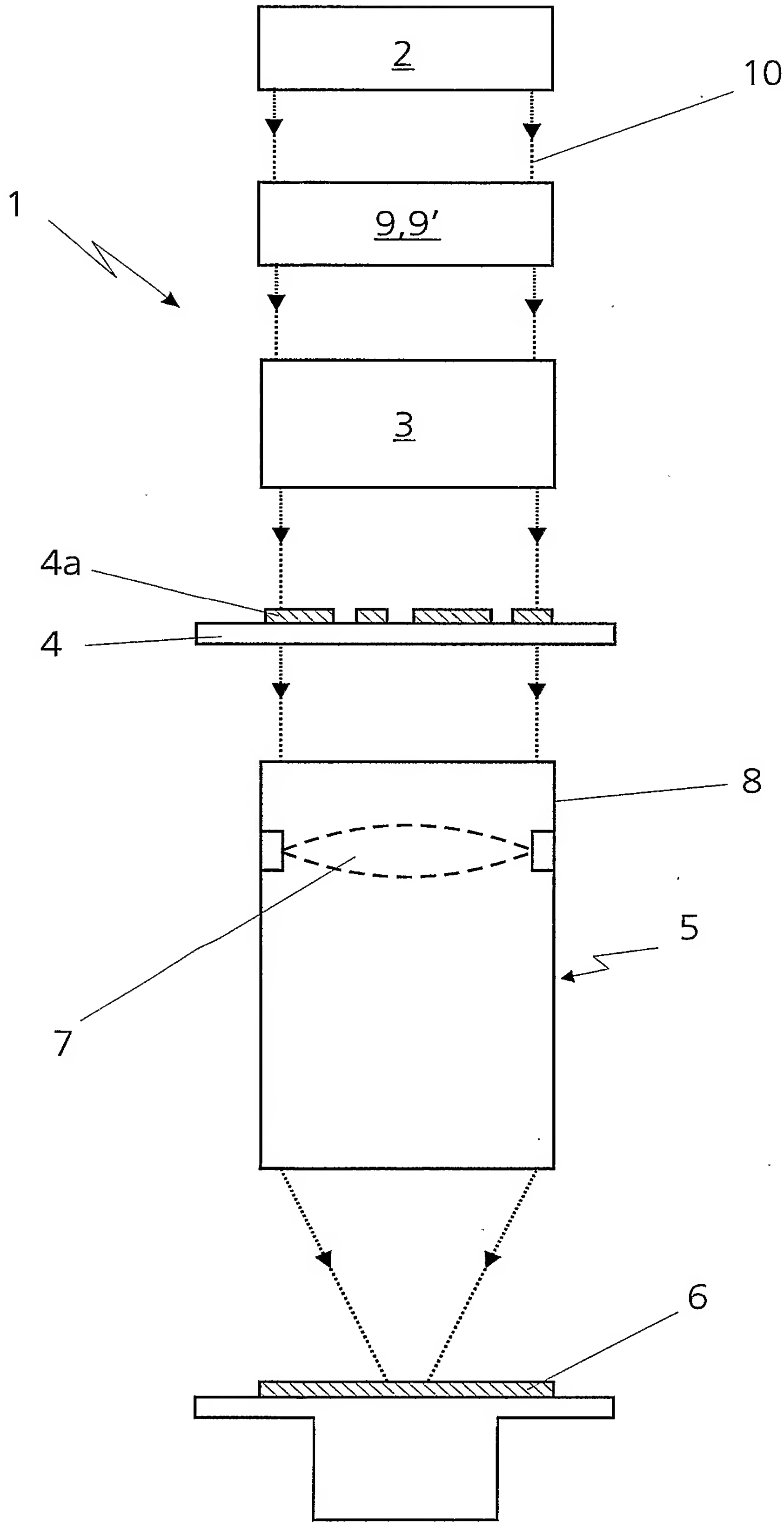


Fig. 1

